

Schott Glas.

Verfahren zur Herstellung von Schichten und Schichtsystemen
sowie beschichtetes Substrat

5

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines
10 Schichtsystems mit hochwertigen optischen Eigenschaften
und/oder hoher Oberflächenglattheit sowie beschichtete
Substrate mit hochwertigen optischen Eigenschaften und/oder
hoher Oberflächenglattheit.

15 Verfahren zum Beschichten von Substraten mit insbesondere
optischen Schichten zur Herstellungen von optischen Bauteilen
wie beispielsweise Spiegel oder Reflektoren sind seit langem
bekannt. Die optischen Schichten haben dabei vielfältigste
Funktionen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Strahlung
20 innerhalb eines bestimmten Bereiches des elektromagnetischen
Spektrums.

Verfahren zum Beschichten von Substraten mit insbesondere
optischen Schichtsystemen, die aus mehreren einzelnen
25 Funktionsschichten, insbesondere aus wechselnd angeordneten
hoch- und niedrigbrechenden Schichten aufgebaut sind, sind
ebenfalls seit Jahren für eine Vielzahl von Anwendungen
bekannt. Dabei wirken die Schichtsysteme oftmals als

Lichtinterferenzfilm, dessen optische Eigenschaften durch die Wahl des Materials für die hoch- bzw. niedrigbrechenden Schichten und damit der entsprechenden Brechungsindizes, durch die Anordnung der einzelnen Schichten und durch die 5 Wahl der einzelnen Schichtdicken bestimmt sind. Die Auswahl erfolgt im wesentlichen unter Ausnutzung bekannter optischer Designregeln und Designhilfsmittel nach Maßgabe der angestrebten optischen Eigenschaften und der Verarbeitbarkeit.

10 In den letzten Jahren haben sich hauptsächlich PVD-Verfahren (Physical Vapour Deposition) und CVD-Verfahren (Chemical Vapour Deposition) zur Herstellung von Schichten bzw. Schichtsystemen, insbesondere für optische Schichten und 15 Schichtsystemen, durchgesetzt.

CVD-Verfahren werden zur Herstellung von Schichten aus refraktären und anderen Metallen, Carbiden, Nitriden und Oxiden verwendet. Dem Vorteil, dass viele Materialien mit 20 nahezu theoretischer Dichte und guter Haftfestigkeit, gleichförmig sowie mit großer Reinheit aufgebracht werden können, steht der Nachteil gegenüber, dass nicht für jedes gewünschte Schichtmaterial passende Reaktionen existieren, das Substrat der meist hohen Reaktionstemperatur standhalten 25 und dem Reaktanden gegenüber chemisch stabil sein muss. Im allgemeinen liegen die während der Reaktion erforderlichen Drücke bei 10 bis 100 Pa, so dass die freie Weglänge der Teilchen relativ gering ist und die Beschichtungsraten für industrielle Prozesse nicht optimal sind.

30 Die PVD-Verfahren, insbesondere Sputterverfahren, zeichnen sich heute demgegenüber dadurch aus, dass eine Vielfalt an beschichtbaren Substratmaterialien möglich ist, dass es eine

nahezu uneingeschränkte Auswahl an Beschichtungsmaterialien gibt, dass die Wahl der Substrattemperatur frei ist, dass die Schichthaftung hervorragend ist und dass die Mikrostruktur der Schichten durch die Wahl der Prozessparameter einfach zu beeinflussen ist. Die Nachteile der ursprünglich entwickelten Sputterverfahren wurden durch vielfältige Entwicklungen weitgehend behoben, so dass die Sputtertechnologie heute zu den universellsten und am weitesten verbreiteten Beschichtungsverfahren zu zählen ist.

10

Für industrielle Beschichtungsverfahren haben sich in den letzten Jahren durch den Einsatz und die Weiterentwicklung von Magnetron-Sputterquellen besonders die Magnetron-Sputterverfahren als geeignet erwiesen. Die Magnetron-Sputterverfahren ermöglichen hohe Beschichtungsraten im niedrigen Druckbereich (bis unter 0,1Pa) bei geringer Substraterwärmung.

Grundsätzlich ist dem Fachmann die Verfahrensweise des Sputterns bekannt.

Mittels einer Sputtervorrichtung, wie sie beispielsweise in der DE 41 06 770 beschrieben wird, werden Substrate mit Hilfe der Kathodenzerstäubung, vorzugsweise durch 25 Magnetronkathodenzerstäubung beschichtet. Dabei werden sogenannte Targets aus dem Schichtausgangsmaterial der Einwirkung einer zwischen zwei Elektroden sich ausbildenden Plasmawolke ausgesetzt, wobei das Target gleichzeitig die Kathode bildet. Das zerstäubte Targetmaterial besitzt eine 30 Affinität zum Reaktivgas und schlägt sich, mit diesem eine chemische Verbindung bildend, als Schicht auf dem Substrat nieder.

In der EP 0 516 436 B1 ist eine Magnetron-Sputteranlage zum Beschichten eines Substrates mit einer oder mehreren Schichten beschrieben.

- 5 Die spezielle Form der Anlage trägt zu einem effizienteren Sputterprozess bei. Die Anlage weist dazu eine Vakuumkammer auf, in der sich ein trommelförmiger Substrathalter und an den Wandungen der Vakuumkammer Targets aus den Schichtausgangsmaterialien befinden, wobei die Targets auf 10 Magnetrons angeordnet sind.

Durch das Drehen der Trommel auf der sich die Substrate befinden, werden diese gleichmäßig beschichtet. Auch bewirkt diese Form des Sputterns, dass die Substrate mit mehreren 15 Schichten beschichtet werden können, ohne aus der Vakuumkammer genommen zu werden und die Dicke der Schicht einfach zu beeinflussen ist.

Es hat sich jedoch gezeigt, dass mit den bekannten 20 Sputterverfahren zur Beschichtung von Substraten mit insbesonderen optischen Schichten und Schichtsystemen noch immer Qualitätsmängel in Form von Trübungen und verhältnismäßig starker Rauigkeit der Schichtoberflächen auftreten, die bei Beleuchtung des beschichteten Substrates 25 meist als Bereiche mit diffuser Lichtstreuung zu erkennen sind. Neben einem rein kosmetischen Effekt bewirken Trübungen eine Verringerung des Reflexionsgrades der Beschichtung und damit der Güte von Reflexionsoptiken. Bei Filteroptiken führen diese Trübungen zu einer Verminderung des 30 Transmissionsgrades. In beiden Fällen kann neben dem Effekt der Lichtstreuung auch eine erhöhte Absorption zur Verminderung der Produktqualität beitragen.

- Die Erfindung hat sich daher die Aufgabe gestellt, ein Verfahren zum Beschichten von Substraten bereitzustellen, mit dem Schichten und Schichtsysteme aufgebracht werden, welche
- 5 eine hohe optische Güte und/oder eine hohe Oberflächenglattheit aufweisen, sowie beschichtete Substrate mit hoher optischer Güte und/oder hoher Oberflächenglattheit zur Verfügung zu stellen.
- 10 Diese Aufgabe wird bereits in höchst überraschender Weise durch ein Verfahren gemäß der Ansprüche 1 bis 10 und einem beschichteten Substrat gemäß der Ansprüche 11 bis 23 gelöst.
- Dementsprechend umfasst das erfindungsgemäße Verfahren zum
- 15 Beschichten eines Substrates mit mindestens einer Funktionsschicht, das Bereitstellen eines Substrates in einem Vakuumsystem sowie das Bereitstellen des Schichtausgangsmaterials in diesem Vakuumsystem und das
- Beschichten des Substrats mittels Sputtern des
- 20 Schichtausgangsmaterials, bei welchem der Sputterprozess zum Beschichten des Substrates mit der Funktionsschicht zumindest einmal unterbrochen wird, wobei eine im Verhältnis zur Funktionsschicht sehr dünne, von der Funktionsschicht
- verschiedene Zwischenschicht aufgebracht wird, die unter einer
- 25 Dicke von 20 nm bleibt.
- Als Sputtern werden solche Prozesse bezeichnet, bei denen die Schichtausgangsmaterialien, die in fester Form als Target vorliegen, dem Beschuss von Ionen ausgesetzt werden, so dass es zur Emission von Atomen, Atomclustern oder Molekülen des
- 30 Targets und somit zu einem Zerstäuben des Schichtausgangsmaterials kommt.

Die hier im weiteren benannten Funktionsschichten können optisch wirksame (d.h. diese haben eine Funktionen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Strahlung innerhalb eines bestimmtens Bereiches des elektromagnetischen Spektrums) Einzelschichten einer Beschichtung sein. Dabei kann die Beschichtung sowohl aus nur einer Funktionsschicht als auch aus mehreren Funktionsschichten, beispielsweise einem Interferenzschichtsystem aus hoch- und niedrig brechenden Funktionsschichten bestehen.

Das hier beschriebene Verfahren zum Beschichten eines Substrates mit mindestens einer Funktionsschicht beeinflußt in vorteilhafter Weise weder die Konstruktion bekannter Anlagen noch die bekannten Sputterprozesse als solche, sondern gibt einen neuen Verfahrensablauf für die Herstellung von Funktionsschichten vor, wodurch deren Qualität wesentlich verbessert werden kann. Es müssen hierzu keine Änderungen an sich bekannten Anlagen durchgeführt werden sondern lediglich der Prozessablauf gemäß des erfindungsgemäßen Verfahrens mit an sich bekannten Mitteln neu organisiert werden. Das Verfahren ist nicht auf bestimmte Sputteranlagen begrenzt, sondern auf jede Anlagenform, die das Sputtern von Schichtausgangsmaterialien ermöglicht, übertragbar.

Als besonders vorteilhaft hat sich das Magnetronputtern herausgestellt, da höhere Sputterraten erzielt werden können als mit anderen Sputterverfahren und somit ein wirtschaftlicher Vorteil gegeben ist.

In einer vorteilhaften Ausführungsform wird das Substrat derart beschichtet, dass abwechselnd niedrigbrechende

- Funktionsschichten und hochbrechende Funktionsschichten mittels Sputtern in einer reaktiven Atmosphäre aufgebracht werden. Hierbei bestehen die niedrigbrechenden Funktionsschichten bevorzugt aus SiO_2 und die hochbrechenden
- 5. Funktionsschichten bevorzugt aus ZrO_2 , da diese Materialien besonders für optische Interferenzsysteme geeignet sind.

Die Erfinder haben herausgefunden, dass wesentlich trübungsärmere Funktionsschichten erzielt werden können, wenn die hochbrechenden Funktionsschichten aus ZrO_2 durch

10. niedrigbrechende, sehr dünne Zwischenschichten aus SiO_2 , unterbrochen werden.

Diese Zwischenschichten weisen in Abhängigkeit von der Dicke der Funktionsschicht eine Dicke von 0,1 nm - 20 nm, bevorzugt 0,5 nm - 10 nm, besonders bevorzugt 1 nm - 3 nm auf und sind

15. optisch nicht wirksam, dass heißt sie bleiben in jedem Fall unter einer Dicke, bei welcher sie im betrachteten Bereich des elektromagnetischen Spektrums eine merklichen Änderungen der Spektralkurve hervorrufen.

Die nach diesem Verfahren hergestellten Funktionsschichten

20. erscheinen brillanter und glatter und bewirken eine Erhöhung des Transmissionsgrades und/oder Reflexionsgrades.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich ebenfalls zum Beschichten eines Substrats mit einer Metallschicht,

25. insbesondere einer Funktionsschicht aus Chrom.

Die Unterbrechung der Funktionsschicht aus Metall, insbesondere aus Chrom, erfolgt hier durch die Einkopplung eines sauerstoffreichen Mikrowellenplasmas, das mittels eines Mikrowave Applicator erzeugt werden kann.

30. Dabei wird der Prozess des Sputterns von reinen Metall-

Targets bzw. den Cr-Targets, kurzzeitig unterbrochen und der Mikrowave Applicator aktiviert, was dazu führt, dass Sauerstoff in das Vakuum eingebracht wird. Dieser Sauerstoff reagiert mit der auf dem Substrat bereits aufgebrachten

- 5 Metallschicht zu einer dünnen Metalloxidschicht und bildet somit eine sehr dünne Zwischenschicht. Anschließend wird mit dem Sputtern der Metall- bzw. Crom-Targets fortgefahrene.
Derart hergestellte Schichten haben eine deutlich glattere Oberfläche, was ebenfalls zu besseren optischen Eigenschaften
10 beiträgt, sowie für die weitere Verarbeitung.

Die Erfinder haben herausgefunden, dass dieses Verfahren dazu führt, dass die gemessene Rauigkeit einer nach diesem Verfahren hergestellten Oberfläche einer Chromschicht nur
15 etwa halb so groß ist, wie sie bei einer polierten Edelstahlmatritze gemessen wurde, einem bisher bevorzugten Verfahren zur Erzeugung hochpolierter elektrisch leitfähiger Oberflächen.

- 20 Jeder dieser vorgenannten Beschichtungsvorgänge ist beliebig oft wiederholbar, um mehrere Funktionsschichten mit Zwischenschichten zu erhalten, wobei es nicht notwendigerweise erforderlich ist, dass jede Funktionsschicht mittels einer Zwischenschicht unterbrochen wird.

- 25 Vorteilhafterweise werden die Substrate auf einer Trommel, die sich innerhalb der Vakuumkammer befindet, angebracht und rotieren an den Targets mit den Schichtausgangsmaterialien und an der Sauerstoffquelle vorbei. Hierdurch ist eine
30 homogene Beschichtung gewährleistet.

Es liegt für den Fachmann nahe, dass ebenfalls andere, geeignete Vorrichtungen zur Beschichtung verwendet werden

können.

Die Erfindung umfasst, neben dem erfindungsgemäßen Verfahren ein beschichtetes Substrat mit mindestens einer

- 5 Funktionsschicht aus einem Metall, bei welchem die Funktionsschicht mindestens einmal durch eine Zwischenschicht unterbrochen wird, wobei die Zwischenschicht aus einem Metalloxid besteht und unter einer Dicke von 10 nm bleibt.

- 10 Besonders für Substrate, deren Funktionsschicht eine Chromschicht ist, hat es sich als positiv für die Glattheit der Oberfläche herausgestellt, wenn diese mittels einer Zwischenschicht aus einem Metalloxid, insbesondere mittels einer Chromoxidschicht unterbrochen wird.

- 15 Derart beschichtete Substrate mit Chrom finden beispielsweise Verwendung als Substrate für lithografische Prozesse.

- Eine weiteres erfindungsgemäßes beschichtetes Substrat ist für die Verwendung als optisches Element, wie beispielsweise 20 Farbfilter, für die digitale Projektion vorgesehen.

- Die Beschichtung des Substrates besteht hier aus mindestens einer Funktionsschicht aus einem Metalloxid, sowie mindestens einer die Funktionsschicht unterbrechenden Zwischenschicht 25 aus einem Metalloxid. Hier bleibt die Dicke der Zwischenschicht unter einer Dicke, bei welcher sie optisch wirksam ist.

- 30 Die einzelnen Funktionsschichten sind vorzugsweise niedrigbrechende Funktionsschichten und hochbrechende Funktionsschichten, wobei die Funktionsschichten mit mindestens einer Zwischenschicht aus einem Metalloxid

unterbrochen sind. Dabei wird in einer hochbrechenden Funktionsschicht aus ZrO_2 eine niedrigbrechende Zwischenschicht aus SiO_2 eingebracht.

5 Da derart gestaltete Beschichtungen von Substraten die bereits erwähnten guten optischen Eigenschaften aufweisen, finden sie in vielen Bereichen Verwendung.

10 Derartig beschichtete Substrate sind nicht an bekannte Sputter-Verfahren gekoppelt und deren Herstellung ist auch mit anderen Verfahren, beispielsweise mit CVD-Verfahren denkbar.

15 Die hier offenbarten Verfahren stellen lediglich mögliche, vorteilhafte Verfahren dar, mit denen erfindungsgemäße beschichtete Substrate herstellbar sind.

20 Die Erfindung wird nachfolgend genauer anhand bevorzugter Ausführungsformen und unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren näher erläutert. Dabei verweisen gleiche Bezugszeichen in den Figuren auf gleiche oder ähnliche Teile.

25 Es zeigen:

Fig. 1: Eine schematische Darstellung einer Magnetron-Sputtereinrichtung zum Beschichten von Substraten mit SiO_2 und/oder ZrO_2 .

30 Fig. 2: Eine schematische Darstellung einer Magnetron-Sputtereinrichtung zum Beschichten von Substraten mit Cr.

Fig. 3: Eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch ein Schichtsystem gemäß einer Ausführungsform der Erfindung

5

Die Darstellungen sind nicht maßstabsgetreu; die Dicke der Schichten und die Relation der Schichtdicken zueinander ist grundsätzlich für den jeweiligen Anwendungsfall frei wählbar.

10

Beispielhafte Ausführungsformen

Figur 1 zeigt eine schematisch dargestellte Magnetron-Sputtereinrichtung, die zur Beschichtung von Substraten mit hoch- und niedrigbrechenden Funktionsschichten eingesetzt werden kann.

Der grundsätzliche Aufbau einer solchen Magnetron-Sputtereinrichtung ist aus der EP 0 516 436 B1 bekannt, weshalb im folgenden auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet wird.

Innerhalb der Vakuumkammer (5) befindet sich eine Trommel (7), auf der die einzelnen zu beschichteten Substrate (1) befestigt sind. Des weiteren verfügt die dargestellte Magnetron-Sputtereinrichtung an ihrer kreisförmigen Wandung (6) in diesem Ausführungsbeispiel über vier Sputterelektroden (10 a, 11 a), sowie eine Pumpe (9) und zwei Mikrowellengeneratoren (8). Es hat sich gezeigt, dass die in der EP 0 516 436 B1 beschriebe Anlage sich gut für die erfindungsgemäße Beschichtung eines Substrats eignet, jedoch ist das Verfahren nicht nur auf diese beschränkt,

sondern auch auf anderen Sputteranlagen durchführbar.

In einer bevorzugten Ausführungsform zur Herstellung von Blaufiltern mit Metalloxidschichten werden mehrere Substrate
5 (1) auf die Trommel (7) innerhalb der Vakuumkammer aufgebracht.

Zum Beschichten dieser Substrate (1) mit einem hochbrechenden ZrO₂ und niedrigbrechenden SiO₂-Wechselschichtsystem, bei dem
10 die erste ZrO₂-Schicht eine Dicke von ca. 93,3 nm aufweist, werden durch Sputtern der Zr-Targets (10 b) Zr-Atome in die Vakuumskammer (5) eingebracht, welche mit dem eingelassenen Sauerstoffreaktivgas aus den Mikrowellengeneratoren (8) zu ZrO₂ reagieren und mit einer Beschichtungsrate von 14,1 nm
15 ZrO₂/min nach 205 s eine erste Teilschicht der Funktionsschicht bilden. Dann erfolgt für einen kurzen Zeitraum von 4 s reaktives Sputtern von Si-Atomen von den Si-Targets (11 b). Das entstehende SiO₂ schlägt sich als Zwischenschicht mit einer Beschichtungsrate von 25,7 nm
20 SiO₂/min auf der ersten aufgebrachten ZrO₂-Funktionschicht nieder.

Die kurze Beschichtungsdauer von nur 4 s für das Aufbringen der Zwischenschicht aus SiO₂ ergibt in diesem Fall eine
25 rechnerische Dicke der Zwischenschicht von 1,7 nm.

Anschließend wird wieder Zr von den Zr-Targets (10 b) für die noch fehlende zweite Hälfte der ersten Funktionsschicht in einer reaktiven Atmosphäre für 192 s gesputtert.

30

Im nächsten Schritt wird eine weitere, niedrigbrechende Funktionsschicht aufgebracht. Diese besteht aus Siliziumoxid, dass von den Si-Targets (11 b) als Si-Atome mit einer

Beschichtungsrate von 25,7 nm SiO₂/min in die Vakuumskammer
5 reaktiv gesputtert wird. Dieses SiO₂ schlägt sich ebenfalls auf den bisher aufgebrachten Schichten nieder. Auch im diesen Schritt richtet sich die Dauer der Beschichtung nach der Dicke der Schicht, die aufgebracht werden soll.

Es ist naheliegend, dass die Funktionsschicht aus SiO₂, falls gewünscht, ebenfalls mit einer sehr dünnen ZrO₂-Zwischenschicht geteilt werden kann.

10 Je nach Anwendungsfall ist für die Erzielung einer beabsichtigten optischen Wirkung eines Wechselschichtsystems z.B. eines Blaufilters, das Aufbringen mehrerer Wechselschichtsysteme notwendig. Es liegt durchaus nahe innerhalb eines solchen Wechselschichtsystems mehrere Schichten derart zu unterteilen.
15

Figur 2 zeigt eine weitere Ausführungsform einer Magnetron-Sputteranlage, die zum erfindungsmäßigen Herstellen von Chromschichten für lithografische Prozesse auf Substraten dient. Sie entspricht in ihrem Aufbau der Magnetron-Sputteranlage aus Figur 1, verfügt aber nur über zwei Sputterelektroneneinheiten (12 a).

20 Die Substrate (1) werden auf der Trommel (7) innerhalb der Vakuumkammer (5) bereitgestellt. Zum Aufbringen einer ersten Funktionsschicht aus Chrom auf ein Substrat (1) werden durch metallisches Sputtern der Cr-Targets (12 b) Cr-Atome in die Vakuumkammer (5) eingebracht.

25 Hierbei ist entscheidend, dass sich in der Vakuumkammer (5) kein Sauerstoff befindet oder zugeführt wird. Der Sputterprozess wird so lange durchgeführt, bis die gewünschte

Dicke der Chromschicht, hier 30 nm erreicht ist. Dann werden die Sputterelektroneneinheiten (12 a) ausgeschaltet und ein kurzzeitiges Aktivieren des Mikrowellengeneratoren (8) erfolgt, wodurch ein Sauerstoffplasma in der Vakuumkammer (5) entsteht, das die frisch gesputterte metallische Chromoberfläche anoxidiert. Die Dicke der dabei entstehenden Oxidschicht ist so dünn, dass sie keinen Einfluß auf die spektralen Eigenschaften, insbesondere die Reflexionseigenschaften der Spiegelschicht hat.

10

Nach diesem Vorgang wird der Mikrowellengeneratoren (8) ausgeschaltet und erneut die Sputterelektroneneinheiten (12 a) aktiviert und es erfolgt erneut das Aufbringen einer weiteren Chromschicht von ca. 30 nm durch metallisches Sputtern der Cr-Targets (12 b). Diese Verfahrensweise wird so oft wiederholt, bis die gewünschte Gesamtdicke von 270 nm erreicht ist.

20

Figur 3 zeigt schematisch ein nach dem oben beschriebenen Verfahren beschichtetes Substrat mit einer Funktionsschicht (2). Hierbei ist auf dem Substrat (1) eine erste Hälfte einer Funktionsschicht (3) aufgebracht worden, dann erfolgt die Unterbrechung mit einer Zwischenschicht (4) und darauf die zweite Hälfte einer Funktionsschicht (3). Je nach Anwendungsfall und Vorgabe des optischen Design liegt es durchaus nahe, mehrere derart geteilte, auch unterschiedliche Funktionsschichten (2) übereinander aufzubringen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (1) mit mindestens einer Funktionsschicht (2), umfassend
 - 5 a) das Bereitstellen des Substrates (1) und des Schichtausgangsmaterials in einem Vakuumsystem (5) und
 - b) das Beschichten des Substrates (1) mit einer Funktionsschicht (2) mittels Sputtern des Schichtausgangsmaterials dadurch gekennzeichnet, dass
 - 10 b1) das Sputtern des Schichtausgangsmaterials zum Beschichten des Substrates (1) mit einer Funktionsschicht (2) zumindest einmal unterbrochen wird und eine von der Funktionsschicht verschiedene Zwischenschicht (4) erzeugt wird, deren Dicke ≤ 20 nm beträgt,
 - 15 b2) das Sputtern des Schichtausgangsmaterials nach der Unterbrechung fortgesetzt wird.
2. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Beschichten des Substrates (1) mit einer Funktionsschicht (2) mittels
 - 20 Magnetron-Sputtern des Schichtausgangsmaterials aufgebracht wird.
3. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (1) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Funktionsschicht mittels eines Magnetron-Sputterverfahren gemäß der EP 0 516 436 B1 aufgebracht wird.
4. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Funktionsschichten (2), insbesondere als Wechselschichtsystem aus niederbrechenden
 - 30 Funktionsschichten (2) und hochbrechenden

Funktionsschichten (2) aufgebracht werden.

5. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (1) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die niedrigbrechenden Funktionsschichten (2) durch Sputtern von hochbrechende Zwischenschichten (4) und/oder die 5 niedrigbrechenden Funktionsschichten (2) durch Sputtern von niedrigbrechenden Zwischenschichten (4) unterbrochen werden, wobei die Zwischenschichten unter einer Dicke bleiben, bei der sie optisch wirksam werden, vorzugsweise ≤ 10 nm.

6. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (1) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die niedrigbrechenden Funktionsschichten (2) und die niedrigbrechende Zwischenschichten (4) durch Sputtern von 15 Silizium in einer reaktiven Atmosphäre aus SiO_2 bestehen und die hochbrechenden Funktionsschichten (2) und die hochbrechende Zwischenschichten (4) durch Sputtern von Zirkon in einer reaktiven Atmosphäre aus ZrO_2 bestehen.

7. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (1) nach einem 20 der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Funktionsschicht (2) durch Sputtern eines Metalles eine reine Metallschicht aufgebracht wird.

8. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (1) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Unterbrechung 25 des Sputterns der Funktionsschicht (2) durch die Einkopplung eines sauerstoffreichen Mikrowellenplasma in die Vakuumkammer erfolgt, wobei eine Zwischenschicht (4) aus Metalloxid durch Oxidation der Oberfläche der bisher aufgewachsenen Funktionsschicht (2) aus Metall entsteht.

9. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (1) mit einer Funktionsschicht (2) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Funktionsschicht (2) mittels Sputtern von Chrom aufgebracht wird.

5 10. Verfahren zum Beschichten eines Substrates (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Substrate (1) auf einer Trommel (7), die sich innerhalb der Vakuumkammer befindet, an Targets (10, 11, 12) mit den Schichtausgangsmaterialien und einer 10 Sauerstoffquelle (8) vorbei rotieren.

11. Beschichtetes Substrat (1) mit mindestens einer Funktionsschicht (2) aus einem Metall, dadurch gekennzeichnet, dass die Funktionsschicht (2) mindestens eine sie unterbrechende Zwischenschicht (4) aus einem 15 Metallocid aufweist, deren Dicke $\leq 10 \text{ nm}$ beträgt.

12. Beschichtetes Substrat (1) nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Funktionsschicht (2) eine Chromschicht ist.

13. Beschichtetes Substrat (1) nach einem der Ansprüche 11 20 und 12, dadurch gekennzeichnet, dass die unterbrechende Zwischenschicht (4) aus einem Metallocid eine Chromoxidschicht ist.

14. Beschichtetes Substrat (1), nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass dieses herstellbar mit 25 einem Verfahren gemäß der Ansprüche 7 bis 10 ist.

15. Beschichtetes Substrat, nach einem der Ansprüche 11 bis 14, gekennzeichnet durch seine Verwendung als Substrat für lithografische Prozesse.

16. Beschichtetes Substrat (1) mit mindestens einer Funktionsschicht (2) aus einem Metalloxid, dadurch gekennzeichnet, dass die Funktionsschicht (2) mindestens 5 eine sie unterbrechende Zwischenschicht (4) aus einem Metalloxid aufweist, die unter einer Dicke bleibt, bei welcher diese optisch wirksam ist.
17. Beschichtetes Substrat (1) nach Anspruch 16, dadurch 10 gekennzeichnet, dass es ein Wechselschichtsystem aus hoch- und niedrigbrechenden Funktionsschichten umfasst.
18. Beschichtetes Substrat (1) nach Anspruch 17, dadurch 15 gekennzeichnet, dass die niedrigbrechende Funktionsschicht (2) aus SiO_2 und die hochbrechende Funktionsschicht (2) aus ZrO_2 besteht.
19. Beschichtetes Substrat (1) nach Anspruch 18, dadurch 20 gekennzeichnet, dass die unterbrechende Zwischenschicht (4) aus einem Metalloxid in einer hochbrechenden Funktionsschicht (2) aus ZrO_2 eine niedrigbrechende Zwischenschicht (4) aus SiO_2 ist und die unterbrechende Zwischenschicht (4) aus einem Metalloxid in einer niedrigbrechenden Funktionsschicht (2) aus SiO_2 eine 25 hochbrechende Zwischenschicht (4) aus ZrO_2 ist.
20. Beschichtetes Substrat (1), nach einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass dieses herstellbar mit einem Verfahren gemäß der Ansprüche 4 bis 6 ist. 30
21. Beschichtetes Substrat, nach einem der Ansprüche 16 bis 20, gekennzeichnet durch seine Verwendung als optisches Element.

22. Beschichtetes Substrat, nach Anspruch 21,
gekennzeichnet durch seine Verwendung als Farbfilter.

5 23. Beschichtetes Substrat, nach einem der Ansprüche 11
bis 22, gekennzeichnet dadurch, dass die Funktionsschicht
eine optische Funktionsschicht ist.

Zusammenfassung

Um Substrate mit Funktionsschichten herzustellen, welche eine hohe optische Eigenschaften und/oder hohe Oberflächenglattheit, insbesondere eine geringe Trübung und deutlich geringere Rauhigkeit aufweisen, stellt die Erfindung ein Sputterverfahren zum Beschichten eines Substrats mit mindestens einer Funktionsschicht bereit, wobei der Sputterprozess zum Beschichten mit einer Funktionsschicht zumindest einmal unterbrochen wird und eine Zwischenschicht aufgebracht wird, die unter einer Dicke von 20 nm, sowie verfahrensgemäß hergestellte beschichtete Substrate.